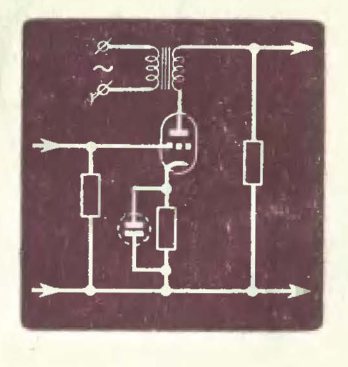
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

И. Г. ГОЛЬДРЕЕР и В. Ю. РОГИНСКИЙ

САМОВЫПРЯМЛЯЮЩИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ





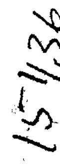
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1955

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 229

И. Г. ГОЛЬДРЕЕР и В. Ю. РОГИНСКИЙ

САМОВЫПРЯМЛЯЮЩИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1955 ЛЕНИНГРАД

В современных устройствах автоматики и автоматического регулирования, в устройствах для промышленного применения токов высокой частоты, в специальных усилителях постоянного тока или низкочастотных колебаний широко применяются усилительные схемы, в которых анодные цепи электронных ламп питаются переменным током без его предварительного выпрямления. В данной брошюре рассматривается принцип действия таких схем и приводятся примеры их применения.

Брошюра предназначена для подготовленных радиолюбителей, а также инженеров и техников нерадиотехнических специальностей, занимающихся использованием радиотехнических методов и средств в различных областях народного хозяйства.

Авторы
Гольдреер Иона Гутелевич и *Рогинский Владимир Юрьевич*
САМОВЫПРЯМЛЯЮЩИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Редактор *Е. А. Левитин* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 2/VI 1955 г. Подписано к печати 23/VII 1955 г.
Т-04383. Бумага 84×108[1]/[32] 2,46 печ. л. Уч.-изд. л. 2,6
Тираж 25 000 экз. Цена 1 р. 05 к. Заказ 260

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

В современных устройствах автоматики и автоматического регулирования, в устройствах для промышленного применения токов высокой частоты, в специальных усилителях постоянного тока или низкочастотных колебаний широко применяются усилительные схемы, в которых анодные цепи электронных ламп питаются переменным током без его предварительного выпрямления. В этих схемах, которые в дальнейшем будем называть самовыпрямляющими, можно использовать переменный ток также и для дополнительного питания сеточных цепей ламп. Таким образом, все электрические цепи трехэлектродных ламп в самых различных схемах и устройствах, указанных выше, можно питать переменным током. Многоэлектродные лампы, используемые в рассматриваемых схемах, обычно включают как трехэлектродные, ибо в противном случае потребуются источники постоянного тока для питания цепей второй и третьей сеток.

Устранение надобности в источниках постоянного тока значительно упрощает усилительные устройства, уменьшает их стоимость и эксплуатационные расходы, а также дает возможность сделать их компактными.

В некоторых случаях оказывается целесообразным питать часть ламп устройства переменным током, а остальные от источника постоянного тока. Этот принцип можно применить, в частности, в некоторых типах многокаскадных усилителей с большим коэффициентом усиления, чтобы устранить возможность самовозбуждения усилителя.

Как следует из дальнейшего изложения, повышение частоты тока питания анодных цепей ламп позволит расширить применение радиотехнических схем, подобных описанным ниже. Так, например, станет возможным усиление с их помощью колебаний в диапазоне звуковых частот.

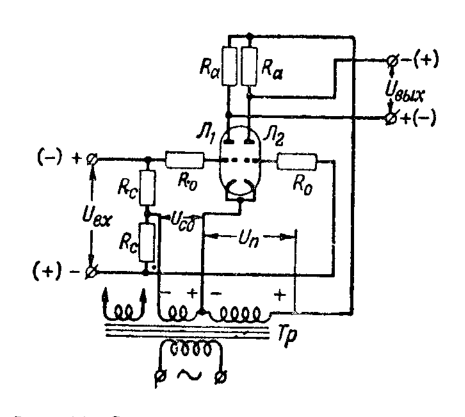
Если анодная цепь электронной лампы одновременно питается напряжением постоянного тока U_0 и переменным напряжением с амплитудой $U_{макс}$, то при выполнении условия $U_0 \geqslant U_{макс}$ лампа проводит ток в течение обоих

переменного тока U_{c0} может быть либо в фазе, либо в противофазе с входным и анодным напряжением. Действие схемы не отличается от ранее описанной.

В заключение рассмотрения однотактных двухполупериодных схем отметим их внешнее отличие от обычных двухтактных схем усилителей. В однотактных двухполупериодных схемах по сравнению с обычными двухтактными изменены места включения источника питания анодной цепи и сопротивления нагрузки. В результате по сопротивлению нагрузки протекают попеременно анодные токи обеих ламп.

ДВУХТАКТНЫЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЕ СХЕМЫ

Как однотактные, так и двухтактные усилительные схемы, питающиеся непосредственно от переменного тока, могут быть однополупериодными или двухполупериодными. Если в них используется только одна полуволна питающего напряжения, то независимо от типа схем их относят к однополупериодным.



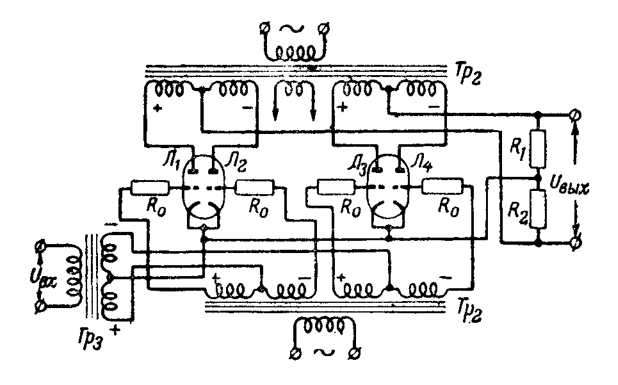
Фиг. 11. Схема двухтактного однополупериодного усилителя.

На фиг. 11 показана простейшая схема двухтактного однополупериодного усилительного каскада. В соответствии с показанной на схеме полярностью при включении на вход усилителя источника напряжения переменного тока произойдет увеличение анодного тока лампы $Л_1$ и уменьшение анодного тока лампы $Л_2$. Выходное напряжение будет равно разности падений напряжений на сопротивлении R_a, создаваемых токами обеих ламп. При отсутствии входного напряжения анодные токи ламп станут одинаковыми по величине, вследствие чего выходное напряжение окажется равным нулю. Это является преимуществом двухтактных схем. При этом имеется в виду, что схема строго симметрична, т. е. в каждом из однотактных каскадов, которые содержатся в схеме, применены одинаковые лампы сопротивления R_a одинаковой величины и одинаковые напряжения питания и смещения.

Двухтактные схемы усилителей могут между собой различаться, так же как и однотактные, способом осуществления сеточного смещения, схемой включения нагрузки и способом фильтрации выходного напряжения.

ДВУХТАКТНЫЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЕ СХЕМЫ

Принципиальная схема одного из вариантов двухтактного двухполупериодного усилителя приведена на фиг. 12. В соответствии с полярностью, обозначенной на схеме, положительное анодное напряжение имеется только у триодов $Л_1$ и $Л_3$. Следовательно, в этот момент времени не участвуют в работе усилителя лампы $Л_2$ и $Л_4$. Эти лампы смогут пропускать ток только в следующий полупериод питающего напряжения.



Фиг. 12. Схема двухтактного двухполупериодного усилителя.

Рассматривая работу схемы в указанный момент времени, мы видим, что за счет входного напряжения потенциал сетки лампы $Л_1$ увеличится (станет более положительным), а потенциал сетки лампы $Л_3$ — уменьшится. Следовательно, анодные токи этих ламп также будут изменяться соответственным образом, а выходное напряжение усилителя, являющееся суммой падений напряжений на сопротивлениях R_1 и R_2, увеличится. При отсутствии входного напряжения анодные токи лампы $Л_1$ и $Л_3$ одинаковы, вследствие чего выходное напряжение равно нулю.

Во второй полупериод питающего напряжения, когда будут работать лампы $Л_2$ и $Л_4$, описанный процесс повторится, причем полярность входного напряжения также изменится на противоположную по сравнению с ранее описанной.

Из сказанного следует, что каждая пара ламп образует собой двухтактный усилитель, работающий в течение одного полупериода питающего напряжения.



Фиг. 13. Двухтактный двухполупериодный усилитель с автоматическим сеточным смещением за счет анодного тока.

Приведенная на фиг. 12 схема применима для усиления входного напряжения переменного тока, причем выходное напряжение является также напряжением переменного тока. При необходимости усиливать напряжение постоянного тока и получать на выходе усилителя напряжения переменного тока, можно использовать схему фиг. 13.

Эта схема принципиально не отличается от схемы фиг. 12. В последней трансформатор $Тр_3$ заменен сопротивлениями R_c и изменен способ осуществления сеточного смещения. В схеме применен всего лишь один трансформатор $Тр_1$ с обмотками w_1 и w_2. Смещение создается только за счет анодного тока. Выходное напряжение

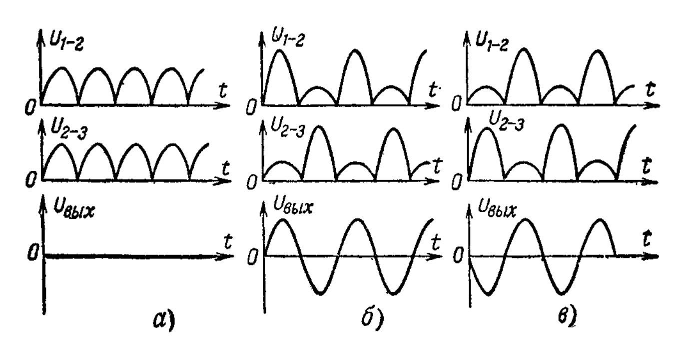
$$U_{вых} = U_{1\text{-}2} - U_{2\text{-}3},$$

где $U_{1\text{-}2}$ — выходное напряжение усилительного каскада на лампах $Л_1$, а $U_{2\text{-}3}$ — выходное напряжение усилительного каскада на лампах $Л_2$.

Действие усилителя, преобразующего в процессе усиления входное напряжение постоянного тока в выходное напряжение переменного тока, может быть пояснено при помощи графиков фиг. 14. При отсутствии входного напряжения ($U_{вх} = 0$) выходное напряжение равно нулю, так как падения напряжения на сопротивлениях R_{a1} и R_{a2} равны (фиг. 14,*а*). При этом имеется в виду полная симметрия схемы усилителя.

При подаче входного напряжения заданной полярности (например, на сетки триодов $Л_1$) увеличится анодный ток этих ламп и уменьшится ток триодов $Л_2$. Анодные токи ламп создадут падения напряжения на сопротивлениях R_{a1} и R_{a2} такой формы, как это показано на фиг. 14,*б*. В результате на выходе усилителя появится переменное напряжение почти синусоидальной формы. Амплитуда выходного напряжения будет зависеть от величины входного напряжения и коэффициента усиления лампы и всей схемы в целом.

При изменении полярности входного напряжения на противоположную по сравнению с ранее рассмотренной и полярностью анодного напряжения, указанной на схеме фиг. 13,



Фиг. 14. Графики напряжений в схеме фиг. 13.
а — при отсутствии входного напряжения; *б* — при положительном входном напряжении; *в* — при отрицательном входном напряжении.

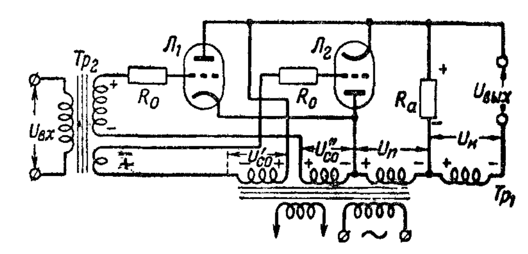
произойдет увеличение анодных токов триодов $Л_2$ и уменьшатся анодные токи триодов $Л_1$. При этом на анодных нагрузках возникнут соответствующие напряжения, форма которых показана на фиг. 14,*в*. Выходное напряжение также будет почти синусоидальным, но сдвинутым по фазе на 180° относительно выходного напряжения, показанного на графике фиг. 14,*б*.

При построении графиков фиг. 14 с целью упрощения рассуждений не учитывалась возможная отсечка анодного тока при относительно больших значениях напряжения на входе усилителя, а также изменение напряжения на сетках лампы за счет изменения напряжения на сопротивлениях $R_к$ при изменении колебаний величины постоянной составляющей анодного тока. Учет указанных факторов приводит к тому, что выходное напряжение получается несинусоидаль-

ным даже в том случае, когда напряжение питания усилителя строго синусоидально. Для улучшения формы кривой выходного напряжения обычно применяют трансформатор с первичной обмоткой, имеющей средний вывод (вместо сопротивлений R_{a1} и R_{a2}). Трансформатор настраивается в резонанс с основной частотой тока питания. Число витков вторичной обмотки трансформатора обычно выбирается так, чтобы трансформатор оказался повышающим, что приводит к повышению коэффициента усиления.

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ С КОМПЕНСАЦИОННЫМИ ОБМОТКАМИ ТРАНСФОРМАТОРА

На фиг. 15 приведена одна из схем усилителей с компенсационной обмоткой на питающем трансформаторе. Эта схема предназначена для усиления входного напряжения переменного тока.

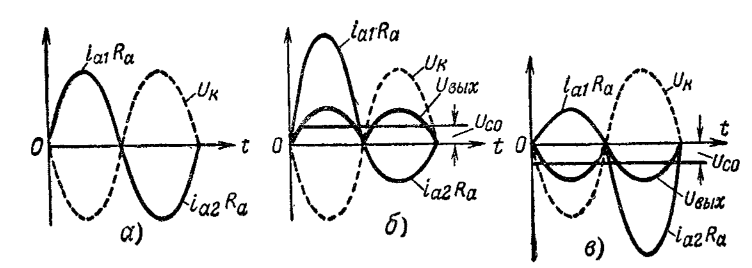


Фиг. 15. Схема усилителя с компенсационной обмоткой.

Рассмотрим вначале процессы, происходящие в схеме, при отсутствии входного напряжения. В соответствии с полярностью, указанной на схеме, через лампу $Л_2$ анодный ток проходит в течение каждого положительного полупериода питающего напряжения $U_п$. В течение отрицательного полупериода этого напряжения по сопротивлению R_a протекает анодный ток лампы $Л_1$, имеющий обратное направление. Таким образом, за период питающего напряжения по сопротивлению R_a протекает ток переменного направления. Если схема симметрична, то падение напряжения на сопротивлении R_a будет иметь одинаковую величину во время обоих полупериодов, т. е. напряжение на этом сопротивлении будет синусоидальной формы. Все сказанное относится к случаю отсутствия входного напряжения.

Выходное напряжение усилителя представляет сумму напряжений U_{Ra} и $U_к$, где U_{Ra} — падение напряжения на сопротивлении R_a, а $U_к$ — напряжение на зажимах компенсационной обмотки. Можно заранее подобрать величины U_{Ra} и $U_к$ так, чтобы их сумма в каждый момент времени равнялась нулю. Тогда при отсутствии входного напряжения получим нулевое значение выходного напряжения усилителя. Все сказанное иллюстрируется графиками фиг. 16,*а*.

Когда на вход усилителя подано напряжение, сфазированное таким образом, что анодный ток лампы $Л_1$ увеличится, а анодный ток лампы $Л_2$ уменьшится, то паде-



Фиг. 16. Графики токов и напряжений.

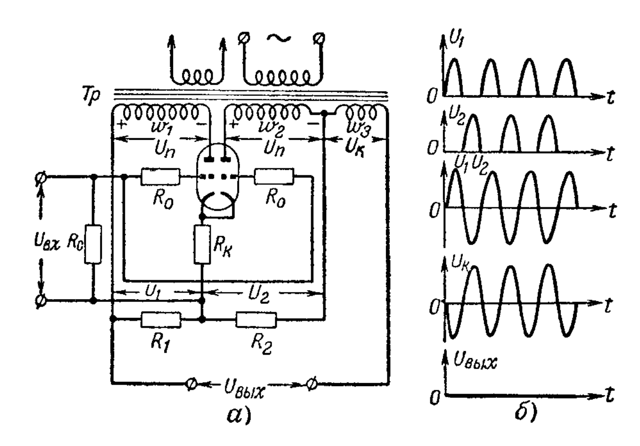
ние напряжения на сопротивлении R_a будет иметь полярность, показанную на схеме фиг. 15,*а*; выходное напряжение будет иметь форму, приведенную на графике фиг. 16,*б*. В следующий полупериод питающего напряжения при неизменном входном напряжении полярность выходного напряжения не изменится.

Если изменить фазу входного напряжения на противоположную, то анодный ток лампы $Л_1$ уменьшится, а ток лампы $Л_2$ увеличится и выходное напряжение изменит свою полярность, как это показано на графике фиг. 16,*в*.

Схеме фиг. 15 свойственны недостатки, главным из которых является трудность балансировки выходного напряжения вследствие различия формы кривых напряжения на сопротивлении R_a и на зажимах компенсационной обмотки $U_к$.

Несколько упрощенная схема усилителя с компенсационной обмоткой на силовом трансформаторе показана на фиг. 17,*а*. Обмотки w_1 и w_2 силового трансформатора *Тр* так подключены к элементам схемы усилителя, что

анодные токи ламп в различные полупериоды питающего напряжения протекают по одному из сопротивлений R_1 или R_2. В результате на сопротивлениях R_1 и R_2 создаются падения напряжения переменного тока. Напряжение $U_к$ компенсационной обмотки трансформатора w_3 находится в противофазе с падением напряжения на сопротивлениях R_1 и R_2 и выбирается такой величины, чтобы при отсутствии



Фиг. 17. Упрощенная схема усилителя с компенсационной обмоткой.

входного напряжения получилось нулевое значение выходного напряжения. Сказанное иллюстрируется графиками фиг. 17,*б*.

Процессы, происходящие при подаче входного напряжения, могут быть описаны так, как это было сделано ранее для схемы фиг. 15.

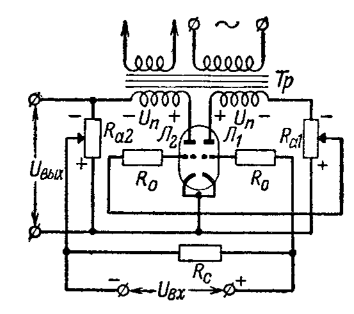
При настройке усилителя по схеме фиг. 17 следует обращать внимание на устранение емкостной связи между обмотками трансформатора. Лучше всего установить между обмотками w_1 и w_2 электростатический экран.

Рассмотренные схемы с компенсационными обмотками проще двухтактных двухполупериодных схем усилителей. Однако следует помнить, что эти схемы обеспечивают усиление, в 2 раза меньшее, чем двухтактные усилители при одинаковых параметрах ламп и схемы.

КАСКАДНЫЕ И МНОГОФАЗНЫЕ СХЕМЫ

Рассмотренные ранее однокаскадные схемы усилителей могут в ряде случаев не удовлетворить заданным условиям как по коэффициенту усиления, так и по величине пульсации выходного напряжения. В таких случаях должны быть применены более сложные схемы усилителей, к которым относятся каскадные и многофазные схемы. В многокаскадных усилителях можно получить большие значения коэффициентов усиления, а в многофазных схемах усиления можно достичь меньшей степени пульсации выходного напряжения.

На фиг. 18 приведена простейшая схема двухкаскадного усилителя с положительной обратной связью. Оба каскада усилителя являются однотактными однополупериодными. Протекание тока через лампы возможно только в течение части положительного полупериода питающего напряжения при полярности, показанной на схеме.



Фиг. 18. Схема двухкаскадного усилителя с положительной обратной связью.

Входное напряжение подается на сетку триода $Л_1$ последовательно с напряжением, снимаемым с части сопротивления R_{a2}, являющегося сопротивлением нагрузки выходного каскада усилителя. Напряжение, подаваемое на вход триода $Л_2$, снимается с части сопротивления R_{a1}, являющегося сопротивлением нагрузки первого каскада усилителя.

Рассмотрим процессы, происходящие в усилителе при отсутствии входного напряжения. По мере передвижения скользящих контактов сопротивлений R_{a1} и R_{a2} вверх увеличивается отрицательное напряжение, подаваемое на вход ламп каждого из каскадов усилителя. Однако полностью запереть лампы невозможно, ибо тогда по сопротивлениям R_{a1} и R_{a2} не будут протекать анодные токи ламп и напряжение на входе усилителей станет равным нулю, что обязательно приведет к появлению тока через лампу во время положительной части периода питающего напряжения. Однако можно найти такое положение скользящих контактов на сопротивлениях R_{a1} и R_{a2}, в положении

которых анодные токи ламп будут сравнительно малы. При протекании этих токов по сопротивлениям R_{a1} и R_{a2} отрицательное напряжение на сетках ламп будет меняться синхронно с изменением напряжения анодного питания в течение положительных полупериодов питающего напряжения. На выходе усилителя появится при этом небольшое напряжение, пульсирующее с частотой тока питания.

При подаче входного напряжения с полярностью, указанной на схеме, отрицательное напряжение на сетке триода $Л_1$ станет меньше, вследствие чего увеличится анодный ток. Одновременно с этим возрастет падение напряжения на сопротивлении R_{a1} и отрицательное смещение на сетке триода $Л_2$. В результате этого уменьшится анодный ток триода $Л_2$ и выходное напряжение станет еще меньше, чем это было ранее. При этом уменьшится напряжение обратной связи, снимаемое с сопротивления R_{a2} выходного каскада. Так как знак этого напряжения противоположен знаку входного напряжения, то эффективность действия изменений потенциала сетки триода $Л_1$ увеличится, что является проявлением положительной обратной связи.

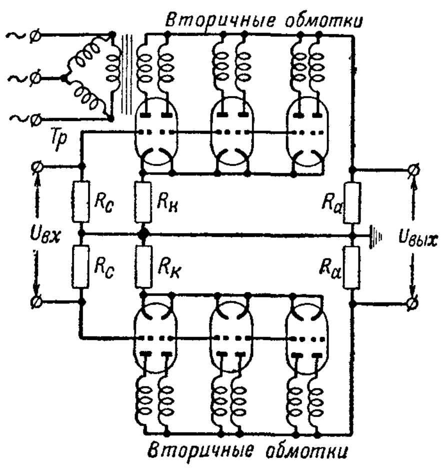
Сопротивление R_0 в цепи сетки триода $Л_1$ служит для ограничения сеточных токов, возникающих при больших положительных потенциалах сетки относительно катода лампы, что возможно при больших положительных напряжениях на входе усилителя или при крайнем нижнем положении скользящего контакта на сопротивлении R_{a2}.

Таким образом, описанный процесс усиления сводится к тому, чтобы увеличением входного напряжения резко уменьшить выходное напряжение усилителя.

Одна из возможных схем многофазных усилителей приведена на фиг. 19. Анодные цепи ламп изображенного здесь двухтактного усилителя питаются от обмоток многофазного трансформатора *Тр*. В зависимости от конструктивных особенностей трансформатора может быть выбрана любая схема соединения его обмоток. Важно только обеспечить соответствующие сдвиги фаз напряжений каждой из вторичных обмоток трансформатора, от которых питаются анодные цепи ламп усилителя. В данном случае напряжения на каждой из ближайших двух обмоток трансформатора, от которых питаются анодные цепи двойного триода, сдвинуты по фазе на 60° друг относительно друга. Этим самым вторичные обмотки трансформатора образуют 12-фазную систему питания. Первичные обмотки трансформатора, как правило, соединяются по схеме треугольника.

При таком соединении обмоток трансформатора каждый триод работает в течение одной двенадцатой части периода. Выходное напряжение усилителя будет пульсировать в небольших пределах, что является основным достоинством схемы.

Как указывалось ранее, все усилительные схемы с питанием анодных цепей ламп переменным током представляют собой управляемые выпрямители. Следовательно, при определении коэффициента пульсации выходного напряжения можно воспользоваться соотношениями, используемыми при расчете выпрямителей.



Фиг. 19. Схема двухтактного многофазного усилителя.

Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения по основной частоте пульсации определяется как $K_п = \frac{2}{m^2 - 1}$, где m — число фаз выпрямления.

В зависимости от требований, предъявляемых к выходному напряжению усилителя, а также от вида нагрузки усилителя можно выбрать соответствующее число фаз усиления. В большинстве случаев достаточно применить двухтактную трехфазную схему усиления. При этом, считая $m = 2 \times 3 = 6$, получаем коэффициент пульсации выходного напряжения $K_п = 0{,}057$.

При выборе числа фаз усиления следует учитывать следующие обстоятельства:

1) указанный коэффициент относится к основной частоте пульсации, а все более высокочастотные составляющие выходного напряжения будут еще меньше, причем четные гармоники переменных составляющих напряжения взаимно компенсируются и не оказывают влияния на работу устройства;

2) основная частота пульсации получается достаточно высокой и равной mf, где f — частота тока в питающей сети.

В схеме фиг. 19 пульсация выходного напряжения может быть вычислена как для 12-фазной схемы.

Применение автоматического сеточного смещения за счет анодного тока в таких схемах обеспечивает почти полное постоянство смещающего напряжения, так как постоянная составляющая анодного тока всех триодов каждого плеча мало изменяется в течение каждой половины периода питающего напряжения. Использование большого числа триодов в схеме усилителя оправдывает себя тем, что эти триоды могут быть менее мощными, чем это требовалось бы при их меньшем числе на заданную мощность нагрузки. Общая мощность рассеяния на анодах всех усилительных ламп в многофазной усилительной схеме не превышает рассеиваемую мощность в однотактной однополупериодной или двухполупериодной схеме. Таким образом, в этом случае имеется проигрыш мощности, затрачиваемой на накал триодов. Можно расчетом показать, что увеличение мощности накала ламп в многофазной схеме по сравнению с однофазными не так уже велико. К тому же этот проигрыш себя оправдывает во многих случаях следующими обстоятельствами:

1) в многофазной схеме усиления можно соединить все нити накала ламп последовательно и питать их без предварительного понижения напряжения сети, что значительно упрощает устройство трансформатора;

2) применение маломощных триодов оказывается в ряде случаев весьма целесообразным из конструктивных соображений, позволяя получить сравнительно большие выходные мощности усилителя при его малых габаритах и сравнительно низких анодных напряжениях.

ГЛАВА ВТОРАЯ

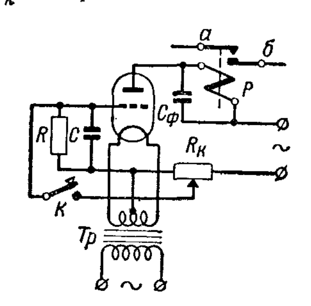
ПРИМЕНЕНИЕ САМОВЫПРЯМЛЯЮЩИХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМ

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕЛЕ

В автоматике и автоматических устройствах широко применяются различные типы реле, в том числе и бесконтактные, выполненные в виде ламповых каскадов. Еще более широко используются электронные реле, включающие в качестве исполнительного элемента электромагнитное реле, чувствительность которого недостаточна для непосредственного реагирования на изменение режима работы устройства. Необходимая чувствительность достигается при помощи усилительной схемы.

В настоящее время широко используются электронные реле, питаемые переменным током без применения выпрямителей. Некоторые из таких реле описываются ниже.

На фиг. 20 показана схема простейшего электронного реле подобного типа. Действие схемы сводится к следующему. При включении источников питания через лампу, обмотку реле P и сопротивление $R_к$ во время положительного полупериода питающего напряжения потечет ток. На сопротивлении $R_к$ создастся падение напряжения, которое явится для лампы отрицательным сеточным смещением. Вследствие действия отрицательного смещения анодный ток лампы будет мал и недостаточен для срабатывания реле. Сказанное относится к тому моменту времени, когда контакт K замкнут. При этом конденсатор C зарядится до напряжения, равного напряжению, снимаемому с части сопротивления $R_к$.



Фиг. 20. Схема простейшего электронного реле.

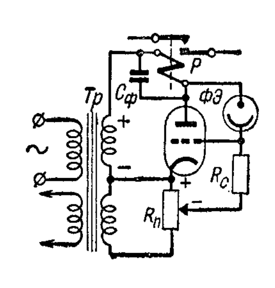
Контакт K может замыкаться любым способом. Часто вместо этого контакта используется фотоэлемент. Как только контакт K будет разомкнут, конденсатор C начнет разряжаться на сопротивление R и отрицательное смещение на сетке лампы будет уменьшаться по мере разряда конденсатора, вызывая увеличение анодного тока лампы. Когда анодный ток достигнет достаточной величины, реле сработает и замкнет исполнительную цепь контактов *а — б*.

Практически контакт K размыкают одновременно с включением питания схемы. Время срабатывания реле определяется величинами R и C. Это время можно регулировать в пределах от тысячных долей секунды до десятка секунд. При помощи движка переменного сопротивления $R_к$ можно подобрать соответствующее смещение и необходимую величину анодного тока, достаточного для срабатывания реле. Конденсатор $C_ф$ предназначен для сглаживания

пульсаций тока через обмотку реле. Кроме того, конденсатор $C_ф$ способствует увеличению среднего значения тока за период в обмотке реле и напряжения на зажимах этой обмотки.

Описанное реле может быть использовано для самых разнообразных целей: для включения анодного питания мощных электронных ламп на расстоянии, для включения анодного питания газотронов и тиратронов спустя некоторое время после включения накала, для строгого установления выдержки времени при фотографической печати, для определения времени экспозиции при фотографических съемках и т. д.

Широкое распространение получили электронные реле в сочетании с фотоэлементами, исполняющие роль контакта *К*. В значительном большинстве случаев указанные фотореле питаются от сети переменного тока без применения выпрямителей.



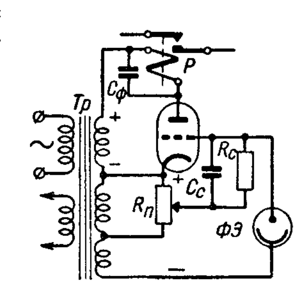
Фиг. 21. Схема электронного фотореле.

На фиг. 21 показана схема одного из типов фотореле с питанием от сети переменного тока. Ток протекает через лампу только в течение положительных полупериодов питающего напряжения: величину этого тока можно регулировать подбором смещающего напряжения, которое находится всегда в противофазе с анодным напряжением. Подбор величины напряжения смещения осуществляется при помощи переменного сопротивления $R_п$.

Во время положительных полупериодов питающего напряжения через фотоэлемент *ФЭ* протекает ток, который создает падение напряжения на сопротивлении R_c. При освещении фотоэлемента ток через него увеличится, возрастет падение напряжения на сопротивлении R_c, приложенное плюсом к сетке лампы. Вследствие этого возрастет анодный ток лампы и реле сработает. Конденсатор $C_ф$ выполняет ту же роль, что и в схеме фиг. 20.

Наряду с рассмотренным реле, срабатывающим при освещении фотоэлемента, находят также применение фотореле, срабатывающие при затемнении фотоэлемента. Схема подобного фотореле, питаемого переменным током, показана на фиг. 22. В этой схеме анодный ток лампы уменьшается при освещении фотоэлемента. Это достигается тем, что при освещенном фотоэлементе при положительном

потенциале на аноде усилительной лампы будет создаваться большой отрицательный потенциал на сетке лампы относительно ее катода за счет падения напряжения на сопротивление R_c, так как при этом сопротивление фотоэлемента уменьшается. Если же ток через фотоэлемент мал, как это получается при его затемнении, то добавочное падение напряжения на R_c мало и сетка относительно катода будет иметь небольшой отрицательный потенциал, определяемый положением движка переменного сопротивления $R_п$. В этом случае ток через лампу и обмотку реле возрастет во время положительного полупериода питающего напряжения. Необходимое значение анодного тока для уверенного срабатывания реле можно подобрать, регулируя величину напряжения сеточного смещения. Конденсатор C_c, включенный параллельно сопротивлению R_c, устраняет возможности возникновения сдвига фаз между напряжениями на аноде и сетке. Такой сдвиг фаз может получиться за счет междуэлектродных емкостей фотоэлемента и лампы.



Фиг. 22. Схема электронного фотореле, срабатывающего при затемнении фотоэлемента.

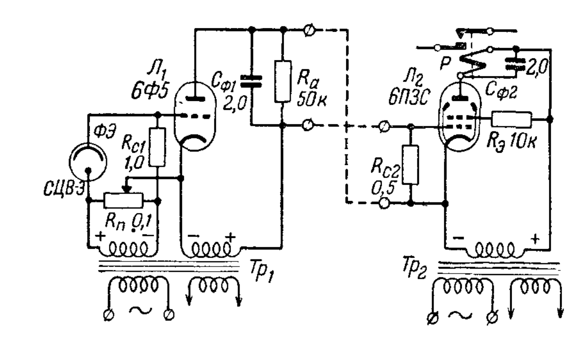
Описанные схемы фотореле обладают достаточной чувствительностью. Тем не менее часто приходится применять двухкаскадные схемы с целью увеличения чувствительности, а также для возможности более удобного размещения отдельных элементов схемы фотореле в соответствии с теми задачами, которые при этом решаются.

Примером двухкаскадного фотореле на переменном токе служит схема фиг. 23.

Первый каскад фотореле устанавливается вблизи объекта, которым освещается фотоэлемент *ФЭ*, например у металлургической печи. Действие фотоэлемента такое же, как и в схеме фиг. 21. При неосвещенном фотоэлементе и положительном потенциале на аноде лампа $Л_1$ не проводит ток. Она заперта отрицательным напряжением сеточного смещения, снимаемым с сопротивления $R_п$. Этому полупериоду напряжения соответствует полярность, указанная на схеме. При освещении фотоэлемента он становится

проводящим и по сопротивлению R_{c1} протекает ток фотоэлемента, создавая падение напряжения такой полярности, что отрицательное смещение лампы $Л_1$ уменьшается и она отпирается.

Падение напряжения на сопротивлении R_a, создаваемое анодным током лампы $Л_1$, посредством двухпроводной линии подается на вход второго каскада реле. Полярность этого напряжения такова, что управляющая сетка лампы $Л_2$ второго каскада получает положительный импульс относительно своего катода. Этот импульс оказывается доста-

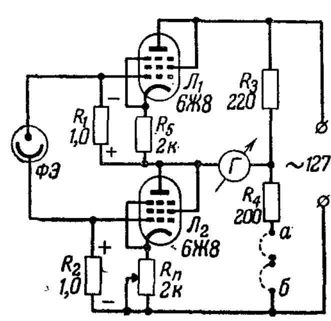


Фиг. 23. Схема двухкаскадного электронного фотореле.

точно длительным за счет действия конденсатора $C_{ф1}$. Отсутствие этого конденсатора, а также конденсатора $C_{ф2}$ в анодной цепи лампы $Л_2$ может привести к тому, что снимаемое с сопротивления R_a напряжение не совпадает по фазе с положительной полуволной напряжения питания лампы $Л_2$ и реле $Р$ не сработает. При достаточной длительности импульса напряжения получается как бы „ждущее действие схемы": в одну из ближайших по времени положительных полуволн питающего напряжения реле сработает.

Представляет практический интерес использование схемы фотореле, приведенной на фиг. 24. Нити накала использованных в ней ламп включаются последовательно в точки $а — б$. Этим самым исключается необходимость применения понижающего трансформатора. Вся схема может быть представлена в виде моста, у которого плечами служат две лампы типа 6Ж8 и сопротивления R_3, R_4 и нити накала ламп. Гальванометр $Г$ включен в диагональ

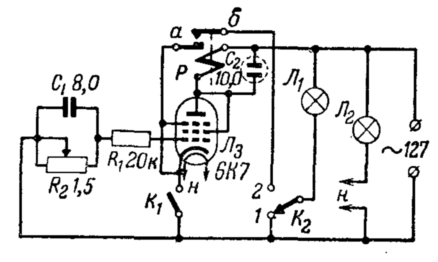
моста. В зависимости от степени освещения фотоэлемента *ФЭ* равновесие моста нарушается, в соответствии с чем будет в той или иной мере меняться ток через гальванометр. Первоначальное равновесие схемы, при которой ток через гальванометр равен нулю, достигается при помощи сопротивления R_n.



Фиг. 24. Схема экспонометра с питанием от сети переменного тока.

Нарушение равновесия моста при освещении фотоэлемента достигается следующим образом. При положительной полуволне питающего напряжения за счет проводимости ламп $Л_1$ и $Л_2$ через сопротивление R_1, фотоэлемент *ФЭ* и сопротивление R_2 течет ток, создающий минус на сетке лампы $Л_1$ и плюс на сетке лампы $Л_2$. Этим нарушается равенство токов ламп, а следовательно, и равновесие моста, ибо гальванометр $Г$ оказывается включенным между точками схемы с разными потенциалами.

Рассмотренная схема в таком виде, как она показана на фиг. 24, применима для измерения освещенности и шкала гальванометра может быть отградуирована в величинах выдержки времени для фотографической съемки, т. е. такая схема служит экспонометром (прибором для определения выдержки времени). Если гальванометр заменить на электромеханическое реле, то схема будет работать в качестве фотореле, как ранее описанные.



Фиг. 25. Схема электронного реле времени.

Для целей фотографирования представляет также интерес схема, приведенная на фиг. 25 и названная «реле времени».

Описываемое электронное реле времени предназначено для обеспечения точной выдержки времени при печатании фотографий. Лампа $Л_2$ горит все время и помещается в красном фонаре, при свете которого можно свободно

обращаться с фотобумагой. Чтобы исключить необходимость в понижающем трансформаторе, лампу $Л_2$ соединяют последовательно с нитью накала усилительной лампы реле $Л_3$. В частном случае при напряжении сети в 127 *в* и при использовании усилительной лампы типа 6К7 с током накала в 0,3 *а* необходима лампа $Л_2$ мощностью в 40 *вт*.

Лампа $Л_1$ находится в увеличителе и время ее горения должно быть точно фиксировано при помощи реле времени. Действие схемы сводится к следующему. При установке выключателя K_2 в положение *1* лампа $Л_1$ включается в сеть и время ее горения не зависит от работы схемы. При положении *2* выключателя K_2 время горения лампы зависит от действия реле. Пусть в исходном положении электромагнитного реле исполнительные контакты *а — б* замкнуты. Тогда, замкнув выключатель K_1, мы обеспечим горение лампы $Л_1$. При этом во время положительных полуволн питающего напряжения ток через лампу $Л_3$ протекать не будет из-за большого отрицательного смещения на ее сетке, созданного при заряде конденсатора C_1 и разомкнутом контакте выключателя K_1.

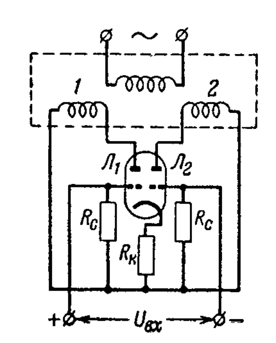
Заряд конденсатора C_1 происходит через промежуток сетка — катод лампы $Л_3$ и лампу накаливания $Л_1$. В этом случае промежуток сетка — катод лампы $Л_3$ играет роль диода, при помощи которого переменный ток выпрямляется и тем самым обеспечивается необходимая полярность потенциала на зажимах конденсатора C_1: минус на сетке и плюс на катоде лампы $Л_3$. В этот момент времени разряд конденсатора C_1 на сопротивление R_2 невозможен, так как конденсатор C_1 все время подзаряжается и на нем поддерживается напряжение постоянной величины.

При замыкании контакта выключателя K_1 начнется разряд конденсатора C_1 через сопротивление R_2, причем лампа $Л_1$ оказывается включенной в сеть и подзарядка конденсатора C_1 прекращается. По мере разряда этого конденсатора будет уменьшаться величина отрицательного смещения на сетке и лампа $Л_3$ отопрется. При этом срабатывает реле *Р*, контакты *а — б* размыкаются и лампа $Л_1$ гаснет. Чтобы подготовить схему к повторному действию, надо разомкнуть контакт выключателя K_1.

При установке фотоувеличителя, когда требуется длительное горение лампы $Л_1$, выключатель K_2 ставится в положение 1.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Для управления маломощными электродвигателями находят все большее и большее применение различные радиотехнические схемы. Этому способствует возможность полного питания устройства, включая электронные лампы, переменным током без применения выпрямителей. Наиболее широкое применение нашли эти схемы в настоящее время в автоматических регуляторах и телеизмерительных системах с асинхронными и синхронными реверсивными двигателями переменного тока, а также и с реверсивными двигателями постоянного тока.



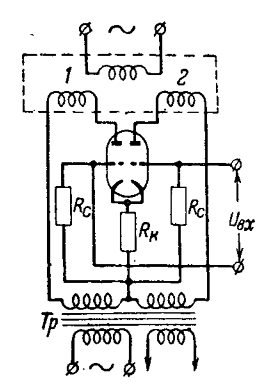
Фиг. 26. Схема управления электродвигателем переменного тока.

На фиг. 26 показана схема управления синхронным или асинхронным двигателем малой мощности (меньше 5 *вт*). Реверсивные обмотки двигателя замкнуты через анодные цепи двойного триода типа 6Н7С. При входном напряжении, равном нулю, токи триодов равны. Вследствие этого магнитные поля, создаваемые обмотками двигателя, равны и взаимно скомпенсированы. В результате ротор двигателя не вращается.

При подаче входного напряжения постоянного тока с такой полярностью, что на сетку триода $Л_1$ подается плюс, анодный ток этого триода возрастет, его сопротивление уменьшится и ток в обмотке *1* увеличится. В то же время анодный ток триода $Л_2$ уменьшится, вызывая уменьшение тока в обмотке *2*. В результате появится вращающееся магнитное поле такого направления, что ротор начнет вращаться, предположим, вправо. Стоит поменять полярность напряжения, как направление результирующего магнитного поля изменится, вызывая изменение направления вращения. При изменении величины входного напряжения меняется величина тока в обмотках двигателя, а следовательно, меняется и скорость вращения.

Сопротивление $R_к$ применено в схеме с целью уменьшения сеточных токов. Однако за счет действия этого сопротивления уменьшается и вращающий момент двигателя. Поэтому стремятся выбирать наименьшую величину сопротивления $R_к$.

С целью увеличения вращающего момента на валу двигателя используют схему фиг. 27. В анодной цепи каждого триода одновременно действуют два напряжения: напряжение переменного тока, снимаемое с обмоток трансформатора *Тр*, и напряжение на реверсивных обмотках двигателя. Сопротивление $R_к$ попрежнему служит для создания автоматического сеточного смещения за счет анодного тока. В ряде случаев это сопротивление целесообразно шунтировать конденсатором. Исключение из схемы сопротивления $R_к$ приводит к увеличению вращающего момента двигателя, но влечет за собой возникновение сеточных токов и расходование заметной мощности во входных цепях ламп.

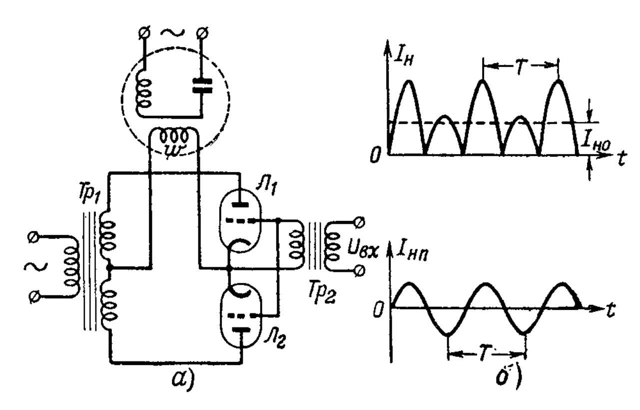


Фиг. 27. Схема управления электродвигателем с увеличенным вращающим моментом.

В описанных схемах рационально применять триоды, сдвоенные триоды и пентоды в режиме триодного включения, у которых сравнительно мало внутреннее сопротивление и достаточна допустимая мощность рассеяния на анодах. К таким лампам могут быть отнесены 6П3С, 6Н5С и им подобные. При увеличении мощности регулируемых двигателей может оказаться целесообразным использование нескольких ламп, соединенных параллельно.

Управление синхронными и асинхронными двигателями малой мощности осуществляется в автоматических устройствах при помощи схем с электронными лампами, представляющих собой управляемые выпрямители. Одна из обмоток двигателя включается в таких схемах в сеть переменного тока через конденсатор, а вторая обмотка служит нагрузкой для управляемого двухтактного выпрямителя (фиг. 28,*а*). К сеточным цепям электронных ламп подводится управляющее напряжение.

Если входные цепи триодов $Л_1$ и $Л_2$ управляемого выпрямителя соединить параллельно и на вход выпрямителя подать напряжение переменного тока $U_{вх}$, то по обмотке *w* двигателя будут протекать неодинаковые выпрямленные токи $I_н$, график которых показан на фиг. 28,*б*. Одинаковые максимальные значения выпрямленного тока будут повторяться с частотой напряжения, подаваемого на вход выпрямителя. Частота входного напряжения $U_{вх}$ равна частоте тока питания всей схемы (т. е. питающей сети). В этом случае в выпрямленном токе появляется переменная составляющая тока $I_{нп}$ с частотой питающего напряжения и ротор двигателя начнет вращаться, так как по обмоткам двигателя будут идти переменные токи одной и той же частоты, но сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90°. Эти токи создадут вращающееся магнитное поле определенного направления. Если изменится фаза напряжения на входе выпрямительных ламп на 180° по сравнению с ранее описанным случаем, то фаза переменной составляющей тока с частотой 50 *гц* изменится на противоположную и ротор двигателя будет вращаться в другую сторону. Изменяя амплитуду переменного напряжения на входе управляемого выпрямителя, можно менять величину переменной составляющей тока $I_{нп}$. При этом будут меняться ток в обмотках двигателя и величина его вращающего момента.



Фиг. 28. Управление двигателем переменного тока (двигатель конденсаторного типа).
а — схема; *б* — графики токов.

Для управления двигателем постоянного тока может быть использована схема, показанная на фиг. 29. Она представляет собой двухтактный однополупериодный усилитель, описанный ранее. Ток через каждый из триодов лампы 6Н7С, примененной в схеме, протекает в течение одного и того же полупериода питающего напряжения. При входном напряжении, равном нулю, падения напряжения на сопротивлениях R_1 и R_2 равны друг другу. В результате напряжение, подводимое к управляющей обмотке *w* (обмотке возбуждения) двигателя равно нулю.

полупериодов переменного тока. Это имеет место в схемах, у которых лампы работают в режиме колебаний 1-го рода (усиление по классу А). Если же анодная цепь трехэлектродной лампы питается переменным током, то ток протекает через лампу только в течение некоторой части положительного полупериода питающего напряжения, т. е. время протекания тока через лампу меньше $1/2\ T$, где T — период тока питающей сети. При этом при помощи управляющего напряжения на сетке лампы можно изменять длительность времени протекания тока, величину амплитуды или среднего значения тока за период, а также и форму тока. В этом случае в цепи сетки лампы может действовать управляющее напряжение постоянного или переменного тока с частотой, равной или более низкой, чем частота тока питания анодной цепи лампы. Если управляющее напряжение является переменным и имеет частоту, равную частоте тока питающей сети, то изменение анодного тока лампы может осуществляться за счет изменения амплитуды или фазы управляющего напряжения.

Во всех случаях использования усилителей с питанием их анодных цепей переменным током электронная лампа представляет собой управляемый вентиль. Это дает возможность применять разнообразные схемы, получая на выходе усилителя напряжение переменного или постоянного тока, управляемое напряжением на входе усилителя. Все описываемые ниже схемы являются разновидностями ламповых каскадов, в которых используются различные комбинации включения электронных ламп, работающих в качестве управляемых вентилей.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

САМОВЫПРЯМЛЯЮЩИЕ СХЕМЫ ЛАМПОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Известно, что действие всех усилительных схем с электронными лампами сводится к тому, что входное напряжение, подаваемое на сетку лампы, управляет величиной анодного тока, который, протекая по сопротивлению нагрузки, создает в свою очередь соответствующие изменения падения напряжения на этом сопротивлении. Во всех таких устройствах эффективность управления будет тем выше, чем больше крутизна характеристики лампы. Требование эффективности управления анодным током остается в силе независимо от характера и назначения усилителя, а также и независимо от рода тока, которым питается анодная цепь усилительной лампы.

Рассматриваемые ниже усилительные схемы используются, как правило, в качестве усилителей мощности. Их нагрузкой являются те или иные исполнительные элементы устройств автоматики или автоматического регулирования. Для большей наглядности рассматриваемых процессов полагаем, что нагрузка ламп имеет чисто активный характер. Это вполне допустимо, так как реальные типовые нагрузки таких усилителей имеют большую активную составляющую и небольшую составляющую сопротивления индуктивного характера.

В большинстве случаев сопротивление нагрузки усилительных схем в устройствах автоматики невелико, и поэтому целесообразно применять трехэлектродные лампы с относительно небольшими значениями внутреннего сопротивления. Можно также использовать многоэлектродные лампы в режиме трехэлектродного включения с тем, чтобы уменьшить их внутреннее сопротивление. При таком включении исключается также возможность одновременной зависимости

выходного напряжения усилителя от входного напряжения и от потенциалов второй и третьей сеток лампы.

Рассматриваемые усилительные схемы могут быть использованы как усилители постоянного тока или как усилители напряжения переменного тока низкой частоты. Верхним пределом частоты усиливаемых колебаний является частота тока питания анодной цепи.

По роду входного и выходного напряжений возможны следующие варианты работы усилительных схем:

1) входное и выходное напряжения постоянного тока;
2) входное и выходное напряжения переменного тока;
3) входное напряжение постоянного тока и выходное напряжение переменного тока;
4) входное напряжение переменного тока и выходное напряжение постоянного тока.

По виду входных цепей усилителей их можно условно разбить на следующие:

а) усилители с трансформаторным входом;
б) усилители с входом без разделения постоянной и переменной составляющих, т. е. без трансформаторов и разделительных конденсаторов.

По характеру обеспечения заданного режима работы ламп, т. е. по методу фиксирования местоположения рабочей точки на характеристике лампы, все усилительные схемы могут быть условно разделены на следующие категории:

1) усилители без сеточного смещения, для которых обычно используются «правые» лампы;

2) усилители с автоматическим сеточным смещением за счет сеточного тока;

3) усилители с автоматическим сеточным смещением за счет анодного тока;

4) усилители, в которых для сеточного смещения используется напряжение переменного тока, снимаемое с дополнительной обмотки трансформатора в цепи питания;

5) усилители с комбинированным сеточным смещением, включающим в себя напряжение переменного тока и автоматическое сеточное смещение за счет сеточного или анодного тока.

Выбор того или иного вида ограничения сеточного тока и фиксирования режима работы лампы может быть сделан конкретно для каждой схемы в отдельности в зависимости от типа применяемых ламп и задач, решаемых данным усилителем.

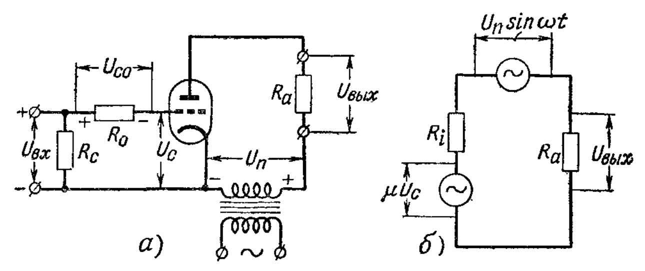
Помимо обычных схем выхода усилителя с трансформаторным или с непосредственным включением нагрузки, могут быть также применены схемы, в которых осуществляется фильтрация выходного напряжения. В простейшем случае для этого используются RC фильтры.

Аналогично тому, как это принято в обычных усилителях, все рассматриваемые усилительные схемы можно разделить на однотактные и двухтактные. Но в данном случае эта классификация оказывается недостаточной и приходится дополнительно указывать характер действия схемы с точки зрения использования полуволн питающего напряжения. Исходя из этого, самовыпрямляющие усилительные схемы можно разбить на следующие четыре основных типа:

1) однотактные однополупериодные;
2) однотактные двухполупериодные;
3) двухтактные однополупериодные;
4) двухтактные двухполупериодные.

ОДНОТАКТНЫЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЕ СХЕМЫ

Простейшая схема однотактного однополупериодного усилителя приведена на фиг. 1,*а*. В этой схеме могут усиливаться напряжения постоянного тока или напряжения переменного тока с частотой тока питания. Ток через лампу протекает только в течение части положительного полупериода питающего напряжения в соответствии с полярностью, показанной на схеме. Величина тока и длительность времени протекания его через лампу зависят от потенциала управляющей сетки. При отсутствии напряжения смещения U_{c0} через лампу проходил бы ток в течение всего положительного полупериода питающего напряжения U_n. Анодный



Фиг. 1. Однотактный однополупериодный самовыпрямляющий усилитель.

а — принципиальная схема; *б* — эквивалентная схема.

ток зависел бы от полярности и величины входного напряжения. При полярности входного напряжения, показанной на схеме, создавался бы значительный сеточный ток. Наличие этого тока допустимо только в том случае, если лампа рассчитана на работу в правой области ее сеточных характеристик, т. е. при использовании «правых» ламп. Для большинства усилительных ламп, которые рассчитаны на работу в левой области сеточных характеристик, такой режим работы недопустим. Следует при этом иметь также в виду и то обстоятельство, что при значительных сеточных токах заметно нагружается источник управляющего (входного) напряжения.

Для ограничения сеточного тока в схеме фиг. 1 используется сопротивление R_0. Процесс ограничения сеточного тока сводится при этом к следующему. Если сопротивление R_0 выбрано во много раз бóльшим (например, в 1 000 раз), чем сопротивление промежутка сетка — катод лампы в проводящем направлении (когда через лампу протекает ток), то при полярности, указанной на схеме, падение напряжения на сопротивлении R_0, создаваемое сеточным током, будет почти равно приложенному входному напряжению $U_{вх}$. Полярность напряжения на сопротивлении R_0 показана на схеме. При этом сетка имеет лишь небольшой положительный потенциал относительно катода, т. е. небольшое положительное смещение.

При перемене полярности входного напряжения сеточные токи будут отсутствовать.

Сопротивление R_0 может быть эффективно использовано только в случае усиления входного напряжения постоянного тока. При усилении напряжения переменного тока действие сопротивления R_0 скажется только в течение положительного полупериода входного напряжения, причем величина напряжения смещения будет зависеть от величины сеточного тока. В свою очередь сеточный ток определяется не только входным напряжением, но и величиной анодного напряжения. Так как в рассматриваемом случае анодное напряжение изменяется по синусоидальному закону, то даже при постоянной величине положительного напряжения на входе сеточный ток будет изменяться и напряжение сеточного смещения не останется постоянным. Во время отрицательных полупериодов входного напряжения сопротивление R_0 не будет оказывать влияния на режим работы лампы.

Если пренебречь непостоянством сеточного смещения, то можно считать, что при синусоидальном напряжении на аноде и постоянной величине входного напряжения постоянного тока анодный ток будет изменяться по синусоидальному закону и угол отсечки анодного тока θ* будет не более 90°. Анодный ток возникнет в тот момент, когда напряжение питания станет положительным (плюс на аноде), и прекратится при изменении полярности анодного напряжения. Практически форма анодного тока будет отличаться от полусинусоиды за счет нелинейности характеристики лампы. Больше всего окажется нелинейность нижнего сгиба характеристики лампы, связанная с наличием пространственного заряда у катода.

Еще более сложен процесс протекания тока через лампу при изменении полярности усиливаемого напряжения на противоположную указанной на схеме. В этом случае входное напряжение постоянного тока создает на сетке такое смещение, при котором ток лампы возможен только при определенных, достаточно больших значениях анодного напряжения. При небольшом положительном напряжении на аноде лампа заперта. Это приводит к уменьшению угла отсечки анодного тока (он станет меньше 90°). Если отрицательное входное напряжение велико, то лампа может оказаться запертой даже при больших положительных значениях анодного напряжения.

Пользуясь общепринятыми представлениями об эквивалентных схемах, можно для данного случая, когда анодная цепь лампы питается переменным током, изобразить эквивалентную схему так, как показано на фиг. 1,*б*. В эту схему входят сопротивление нагрузки R_a, внутреннее сопротивление лампы R_i, источник питания анодной цепи с напряжением $U_{п.макс} \sin \omega t$ и пересчитанное в анодную цепь лампы из сеточной цепи напряжение μU_c, где μ — статический коэффициент усиления лампы.

На основании эквивалентной схемы фиг. 1,*б* можно определить величину анодного тока при положительных значениях входного напряжения по следующей формуле:

$$i_a = \frac{U_{п.макс} \sin \omega t + \mu U_c}{R_i + R_a},$$

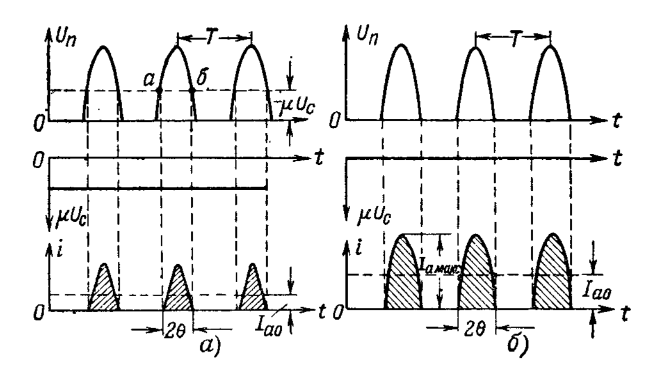
где положительное напряжение на сетке $U_c = U_{вх} - U_{c0}$.

* Углом отсечки анодного тока принято называть половину той части периода, в течение которого через лампу протекает ток. Угол отсечки анодного тока θ выражают либо в частях периода, либо в электрических градусах, полагая период $T = 360°$.

При изменении полярности входного напряжения анодный ток окажется равным:

$$i_a = \frac{U_{п.макс} \sin \omega t - \mu U_c}{R_i + R_a},$$

где $U_{п.\ макс}$ — амплитуда питающего напряжения, $\omega = 2\pi f$, а f — частота тока питания (обычно $f = 50$ *гц*).



Фиг. 2. Графики напряжения и тока.
а — при отрицательном входном напряжении; *б* — при положительном входном напряжении.

При полярности входного напряжения, указанной на схеме фиг. 1,*а*, на сопротивлении R_0 будет создаваться падение напряжения, почти равное напряжению на входе. Пренебрегая разностью этих напряжений, т. е. полагая

$$I_c R_0 = U_{вх} \text{ и } U_c = 0,$$

можно определить величину анодного тока по формуле

$$i_a = \frac{U_{п.\ макс} \sin \omega t}{R_i + R_a}.$$

Пользуясь приведенными соотношениями для анодного тока, можно построить графики токов и напряжений, показанные на фиг. 2.

Графики фиг. 2,*а* относятся к случаю отрицательного значения входного напряжения. При этом анодный ток будет проходить только в те моменты, когда выполняется условие

$$U_{п.\ макс} \sin \omega t - \mu U_c \geqslant 0,$$

т. е. в пределах той части периода питающего напряжения, которая ограничивается ординатами точек *а* и *б*. В этом случае отсечка анодного тока будет меньше 90°.

Величина угла отсечки анодного тока может быть определена по графику или из соотношения

$$U_{п.\ макс} \cos \theta - \mu U_c = 0.$$

Решая последнее выражение, найдем:

$$\theta = \arccos \frac{\mu U_c}{U_{п.\ макс}}.$$

Среднее значение тока через лампу за период питающего напряжения

$$I_{a0} = \frac{U_{п.\ макс} \sin \theta - \mu U_c \sin \left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)}{\pi (R_i + R_a)}.$$

Как видно из графиков фиг. 2,*а* и как это следует из соотношения для среднего значения тока за период $I_{a0} = 0$, получим при условии $U_{п.\ макс} < \mu U_c$. В этом случае угол отсечки анодного тока $\theta = 0$, т. е. лампа заперта в течение всего периода питающего напряжения.

Графики фиг. 2,*б* относятся к случаю положительного значения входного напряжения, при котором напряжение $U_c = 0$ и угол отсечки анодного тока $\theta = 90°$. Среднее значение анодного тока лампы за период будет:

$$I_{a0} = 0{,}318 \frac{U_{п.\ макс}}{R_i + R_a} = 0{,}318\, I_{a.\ макс}.$$

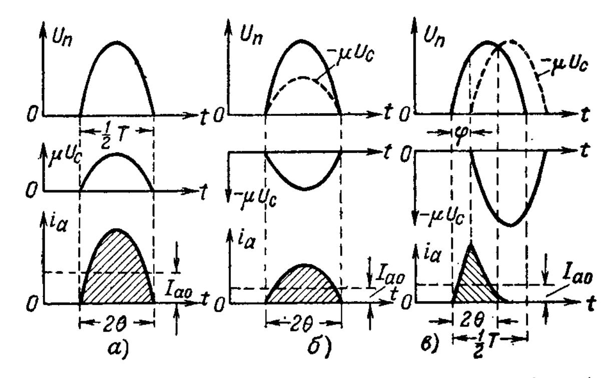
Такое же соотношение токов получается в схеме однотактного выпрямления при работе выпрямителя на нагрузку активного характера.

Из приведенных для графиков фиг. 2,*а* соотношений следует, что при усилении напряжения постоянного тока, приложенного минусом к сетке лампы, можно управлять анодным током путем изменения величины входного напряжения, причем в зависимости от величины этого напряжения среднее значение тока за период будет меняться в пределах от $I_{a0} = 0$ до $I_{a0} = 0{,}318\ I_{a.макс}$. Изменение величины входного напряжения, приложенного плюсом к сетке лампы, не приводит к изменению среднего значения анодного тока за период. Этот ток равен:

$$I_{a0} = 0{,}318\, I_{a.\ макс}.$$

В случае усиления переменного входного напряжения, частота которого совпадает с частотой тока питания, возможны различные способы изменения анодного тока, отличающиеся друг от друга тем, что величина анодного тока и длительность времени его протекания через лампу поразному зависят от параметров входного напряжения. Графики тока и напряжения, относящиеся к случаю усиления входного напряжения переменного тока, приведены на фиг. 3.

Графики фиг. 3,*а* относятся к случаю, когда входное напряжение совпадает по фазе и частоте с анодным напряжением. Анодный ток проходит через лампы в течение всего



Фиг. 3. Графики тока и напряжений в схеме фиг. 1.
а — напряжения на аноде и сетке совпадают по фазе; *б* — напряжения на аноде и сетке в противофазе; *в*—напряжения на аноде и сетке сдвинуты по фазе на угол меньше 90°.

положительного полупериода питающего напряжения. Величина анодного тока в этом случае зависит только от анодного напряжения и параметров схемы. При неизменных значениях анодного напряжения и параметров схемы среднее значение анодного тока за период не зависит от изменения величины входного напряжения. Это означает, что усилитель становится неуправляемым.

На фиг. 3,*б* приведены графики, относящиеся к случаю, когда напряжения на аноде и на сетке изменяются с одинаковой частотой, но находятся в противофазе (сдвинуты по фазе на 180°). В этом случае анодный ток протекает только в течение тех частей положительного полупериода анодного напряжения, когда выполняется условие

$$U_{п.\,макс} \sin \omega t \geqslant \mu U_c.$$

При этом мгновенное и среднее значения тока через лампу и нагрузку определяются соотношениями

$$i_a = \frac{U_{п.\,макс} \sin \omega t - \mu U_{c.\,макс} \sin \omega t}{R_i + R_a};$$

$$I_{a0} = \frac{U_{п.\,макс} - \mu U_{c.\,макс} \sin \omega t}{\pi (R_i + R_a)},$$

где $U_{c.\,макс}$ — амплитуда переменного напряжения на сетке лампы.

Из графиков фиг. 3,*б* и приведенных соотношений следует, что изменением амплитуды входного напряжения $U_{вх.\,макс}$ можно изменять величину анодного тока лампы и среднего значения тока за период в нагрузке. Управление анодным током лампы путем изменения амплитуды входного напряжения принято называть **амплитудным управлением**.

При амплитудном управлении среднее значение тока за период в нагрузке можно изменять от величины $I_{a0} = 0$ при значениях $\mu U_{c.\,макс} \geqslant U_{п.\,макс}$ до наибольшего значения

$$I_{a0} = \frac{U_{п.\,макс}}{\pi (R_i + R_a)} \text{ при } \mu U_{c.\,макс} = 0.$$

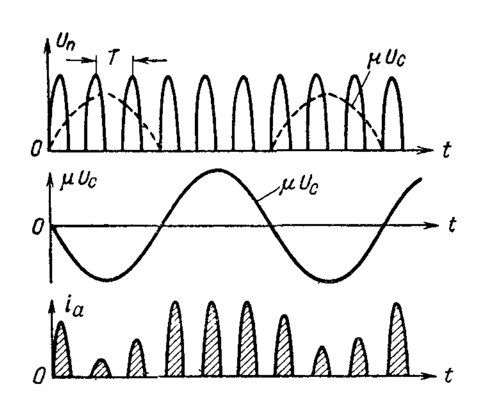
На фиг. 3,*в* приведены графики тока и напряжений, относящиеся к так называемому **фазовому управлению** анодным током. В этом случае частота и амплитуда входного напряжения остаются неизменными, а изменяется только сдвиг фазы между напряжениями на аноде лампы и на входе усилителя. При этом сдвиг фазы можно менять от среднего значения $\varphi = 1/2\ T$ в обе стороны на предельную величину, равную одной четверти периода питающего напряжения. Абсолютная величина изменения тока I_{a0} не зависит от того, в какую сторону изменен сдвиг фазы: в сторону опережения или отставания; знак сдвига фазы влияет только на изменение формы кривой анодного тока, но не его величины.

Наряду с рассмотренными двумя способами управления анодным током можно использовать также и одновременное изменение фазы и амплитуды входного напряжения.

На фиг. 4 показаны графики тока и напряжений для другого случая, когда частота усиливаемого напряжения намного меньше частоты тока питания. При этом можно

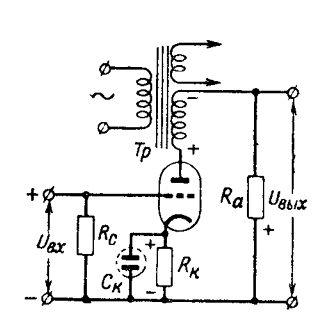
управлять анодным током лампы только в течение отрицательного полупериода усиливаемого напряжения. В течение положительного полупериода входного напряжения усилитель не управляется. Среднее значение тока в нагрузке будет выражаться достаточно сложными соотношениями.

Как было сказано выше, возможны также однотактные однополупериодные схемы усилителей с автоматическим сеточным смещением за счет анодного тока. Одна из схем подобного типа приведена на фиг. 5. Здесь сеточное смещение создается за счет протекания постоянной составляющей анодного тока по сопротивлению $R_к$. Наличие конденсатора $C_к$ устраняет возможность отрицательной обратной связи. Если лампа работает в режиме колебаний 1-го рода, то величина смещения будет поддерживаться все время неизменной. Однако, как это следует из принципа работы усилителей с самовыпрямлением, для них невозможно выбрать режим колебаний 1-го рода, так как ток протекает через лампу только в течение одной части периода питающего напряжения. Таким образом, процесс создания смещения сводится к тому, что во время протекания тока через лампу происходит заряд конденсатора $C_к$, а в течение времени, когда ток через лампу прекращается или заметно уменьшается, происходит разряд конденсатора $C_к$ через сопротивление $R_к$. Если постоянная времени разряда конденсатора $C_к$ больше периода T питающего напряжения, то на сопротивлении $R_к$ может оказаться достаточное напряжение сеточного смещения в течение всего периода T. Легко видеть, что падение напряжения на сопротивлении $R_к$ не останется при этом постоянным по величине и зависит также от значения входного напряжения.

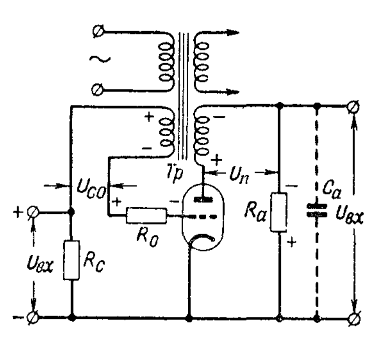


Фиг. 4. Графики тока и напряжения при усилении колебаний, частота которых намного ниже частоты тока питания.

На фиг. 6 приведена схема усилителя, в котором смещение создается одновременно двумя напряжениями: напряжением переменного тока, снимаемым с обмотки силового трансформатора *Тр*, и напряжением, создаваемым на ограничительном сопротивлении R_0 при протекании по нему сеточного тока. Как показано на схеме, напряжение переменного тока на сетке лампы находится в противофазе с напряжением на аноде, что обеспечивает большую эффективность управления анодным током лампы. В этом случае возможно усиление входных напряжений как постоянного, так и переменного тока. При усилении напряжения постоянного тока не требуется установления определенной полярности включения усиливаемого напряжения. В рассматриваемой схеме фиг. 6 управление анодным током лампы осуществляется изменением величины входного напряжения.



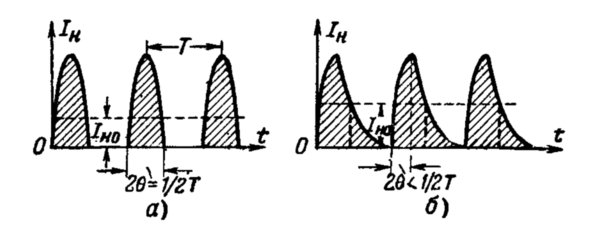
Фиг. 5. Однотактный однополупериодный усилитель с автоматическим сеточным смещением за счет анодного тока.



Фиг. 6. Усилитель с комбинированным сеточным смещением.

Иногда параллельно сопротивлению нагрузки усилителя R_a включают конденсатор C_a. В этом случае усилитель подобен однополупериодному выпрямителю с нагрузкой емкостного характера. Длительность протекания тока через лампу будет определяться не только напряжением на аноде и сетке, но и величинами сопротивления R_a и емкости конденсатора C_a. Если выбрать постоянную времени разряда конденсатора C_a такой, чтобы $C_aR_a \approx \approx 1/2\,T$, то к моменту возникновения положительного напряжения на аноде конденсатор C_a успеет разрядиться и анодный ток возникнет одновременно с началом

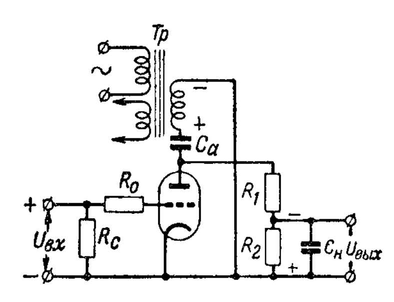
положительного полупериода питающего напряжения. Заряд конденсатора C_a будет происходить за счет анодного тока лампы и будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на конденсаторе не станет равным амплитудному значению питающего напряжения. Затем анодный ток лампы прекратится, а конденсатор C_a, будет разряжаться на сопротивление нагрузки R_a, создавая в нем ток нагрузки $I_н$. При таком процессе увеличивается среднее значение тока за период в нагрузке $I_{н0}$. Характер изменения тока нагрузки в описанной схеме показан на фиг. 7.



Фиг. 7. Графики изменения тока нагрузки в схеме фиг. 6. *а* — без конденсатора C_a; *б* — с конденсатором C_a.

Увеличение емкости конденсатора C_a при неизменной величине сопротивления нагрузки R_a приведет к тому, что увеличится постоянная времени разряда конденсатора C_a. К началу положительного полупериода питающего напряжения конденсатор C_a полностью не разрядится, что приведет к двум следствиям: возникнет дополнительная отсечка анодного тока в начале положительного полупериода питающего напряжения и увеличится среднее значение тока за период в нагрузке. Это также проявится и в том, что уменьшится пульсация напряжения в нагрузке. Таким образом увеличение емкости конденсатора C_a вызывает увеличение среднего значения выходного напряжения $U_{0вых} = I_{н0}R_a$, но приводит к уменьшению времени протекания тока через лампу и к увеличению импульса анодного тока лампы. Возможные варианты схем однотактного усилителя в сочетании с конденсатором C_a показаны ниже.

На фиг. 8 приведена схема усилителя, которая как бы отличается от ранее рассмотренных схем „обратным" действием. Если выбрать сопротивления R_1 и R_2 такими, чтобы сопротивление лампы в проводящем направлении оказалось значительно меньше суммы сопротивлений нагрузки $R_1 + R_2$, то в моменты времени, когда лампа проводит ток, она будет шунтировать выход усилителя и окажется, что напряжение $U_{вых}$ будет очень мало. В моменты отсутствия тока через лампу, т. е. в течение отрицательного полупериода питающего напряжения, электрическая цепь будет замкнута через конденсатор C_a и сопротивления R_1 и R_2. Если при этом выбрать величину сопротивления R_2 значительно меньшей емкостного сопротивления конденсатора $C_н$, то последний будет заряжаться почти до полного амплитудного значения питающего напряжения при том условии, что емкость конденсатора C_a будет выбрана значительно больше емкости конденсатора $C_н$. Следовательно, в течение некоторой части периода конденсатор $C_н$ будет заряжаться, а в течение другой части периода питающего напряжения он будет разряжаться на сопротивление нагрузки R_2. Изменяя время заряда конденсатора $C_н$, можно менять среднее значение тока за период в нагрузке.

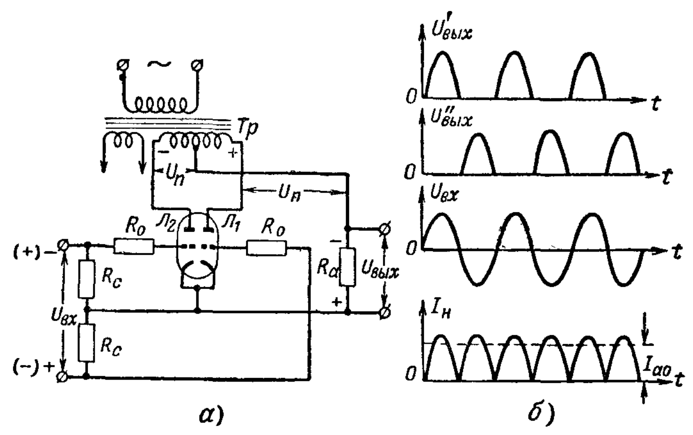


Фиг. 8. Схема усилителя „обратного" действия.

При положительном входном напряжении лампа будет пропускать ток в течение каждого положительного полупериода питающего напряжения и процессы заряда и разряда конденсаторов будут происходить примерно так же, как описано выше. Если же на вход схемы подать отрицательное напряжение (минус на сетку лампы), то изменением величины входного напряжения можно будет менять угол отсечки анодного тока, изменяя тем самым соотношение времени заряда и разряда конденсаторов, что вызовет соответствующее изменение среднего значения тока за период в нагрузке. Наиболее эффективное управление анодным током достигается в двухтактных схемах подобного типа.

ОДНОТАКТНЫЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЕ СХЕМЫ

Во всех описанных однотактных однополупериодных усилителях используется только одна полуволна переменного тока, которым питается анодная цепь усилителя. Основными недостатками этих схем являются значительная пульсация тока в нагрузке, относительно малая составляющая среднего значения тока лампы и неполное использование обмоток трансформатора. Так как лампу усилителя приходится выбирать, исходя из амплитудного значения тока, то очевидно,



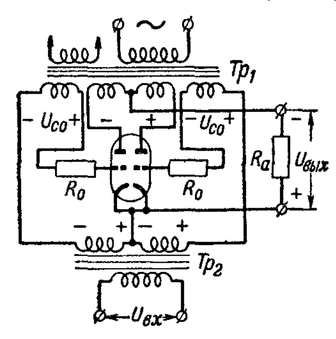
Фиг. 9. Однотактный двухполупериодный усилитель.
а — схема; *б* — графики тока и напряжения.

что однотактные однополупериодные схемы не всегда целесообразно применять. Это особенно важно учитывать при бо́льших мощностях усилителя. Предпочтение должно быть отдано двухполупериодным усилительным схемам.

На фиг. 9,*а* приведена одна из простейших однотактных двухполупериодных схем. В этой схеме ток протекает через лампу и нагрузочное сопротивление R_a дважды за период. В положительный полупериод питающего напряжения (полярность обозначена на схеме) ток протекает через триод $Л_1$, а в отрицательный полупериод — через триод $Л_2$. Если на вход усилителя подать напряжение переменного тока, то процессы в усилителе можно иллюстрировать графиками фиг. 9,*б*. В этом случае невозможно изменять ток через лампу путем изменения амплитуды входного напряжения. Этот случай описан ранее в применении к однополупериодным усилителям.

Применение усилителей по схеме фиг. 9,*а* не всегда целесообразно. Здесь при входном напряжении с полярностью, указанной на схеме, в различные полупериоды питающего напряжения получаются разные по величине токи через сопротивление R_a. Триод $Л_2$ становится неуправляемым, и ток через него протекает в течение каждого положительного полупериода питающего напряжения U_n. Ток через триод $Л_1$ будет значительно меньшим, чем ток триода $Л_2$, а при некоторых соотношениях напряжений U_n и $U_{вх}$ может стать равным нулю (триод $Л_1$ может оказаться запертым отрицательным напряжением, равным $0{,}5U_{вх}$).

Если же входное напряжение переменного тока будет в противофазе с анодным напряжением, то в этом случае схема позволяет управлять анодным током лампы путем изменения амплитуды входного напряжения.



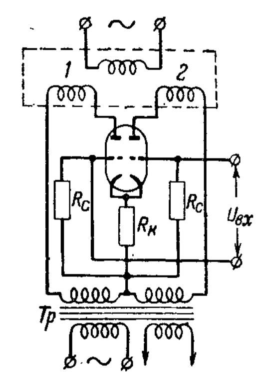
Фиг. 10. Схема двухполупериодного усилителя с комбинированным смещением.

Схема фиг. 9,*а* пригодна для усиления входного напряжения переменного тока только одной частоты, равной частоте тока питания. Если же взять входное напряжение с частотой, отличающейся от частоты тока питания, то требуемое соотношение фаз не будет соблюдаться.

В зависимости от задач, которые должны быть разрешены усилителем, можно видоизменять схему фиг. 9,*а*. Можно исключить сопротивление R_0 и осуществить смещение за счет анодного тока, для чего включаются сопротивления $R_к$ и конденсатор $C_к$ в цепь катода лампы. Можно также использовать схему усилителя без смещения, применяя „правые" лампы, как, например, лампы типа 6Н7С.

На фиг. 10 приведена однотактная двухполупериодная схема усилителя, которая является развитием схемы фиг 6. На каждую из сеток лампы в схеме фиг. 10 действует сумма двух напряжений: входного и напряжения смещения, снимаемого с ограничительного сопротивления R_0 и с обмотки трансформатора $Тр_1$ (U_{c0}). Напряжение

С целью увеличения вращающего момента на валу двигателя используют схему фиг. 27. В анодной цепи каждого триода одновременно действуют два напряжения: напряжение переменного тока, снимаемое с обмоток трансформатора $Тр$, и напряжение на реверсивных обмотках двигателя. Сопротивление $R_к$ попрежнему служит для создания автоматического сеточного смещения за счет анодного тока. В ряде случаев это сопротивление целесообразно шунтировать конденсатором. Исключение из схемы сопротивления $R_к$ приводит к увеличению вращающего момента двигателя, но влечет за собой возникновение сеточных токов и расходование заметной мощности во входных цепях ламп.



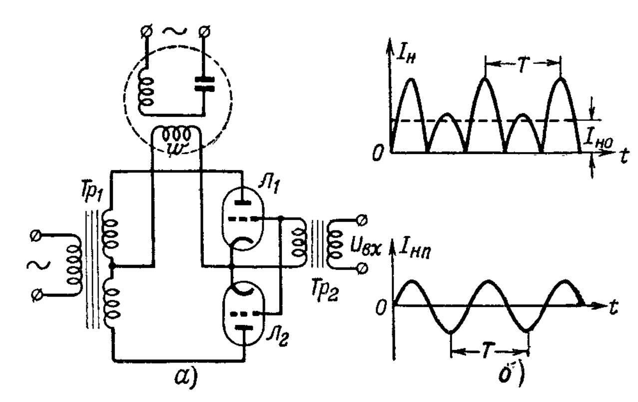
Фиг. 27. Схема управления электродвигателем с увеличенным вращающим моментом.

В описанных схемах рационально применять триоды, сдвоенные триоды и пентоды в режиме триодного включения, у которых сравнительно мало внутреннее сопротивление и достаточна допустимая мощность рассеяния на анодах. К таким лампам могут быть отнесены 6П3С, 6Н5С и им подобные. При увеличении мощности регулируемых двигателей может оказаться целесообразным использование нескольких ламп, соединенных параллельно.

Управление синхронными и асинхронными двигателями малой мощности осуществляется в автоматических устройствах при помощи схем с электронными лампами, представляющих собой управляемые выпрямители. Одна из обмоток двигателя включается в таких схемах в сеть переменного тока через конденсатор, а вторая обмотка служит нагрузкой для управляемого двухтактного выпрямителя (фиг. 28,*а*). К сеточным цепям электронных ламп подводится управляющее напряжение.

Если входные цепи триодов $Л_1$ и $Л_2$ управляемого выпрямителя соединить параллельно и на вход выпрямителя подать напряжение переменного тока $U_{вх}$, то по обмотке w двигателя будут протекать неодинаковые выпрямленные токи $I_н$, график которых показан на фиг. 28,*б*. Одинаковые максимальные значения выпрямленного тока будут повторяться с частотой напряжения, подаваемого на вход выпрямителя. Частота входного напряжения $U_{вх}$ равна частоте то-

ка питания всей схемы (т. е. питающей сети). В этом случае в выпрямленном токе появляется переменная составляющая тока $I_{нп}$ с частотой питающего напряжения и ротор двигателя начнет вращаться, так как по обмоткам двигателя будут идти переменные токи одной и той же частоты, но сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90°. Эти токи создадут вращающееся магнитное поле определенного направления. Если изменится фаза напряжения на входе выпрямительных ламп на 180° по сравнению с ранее описан-



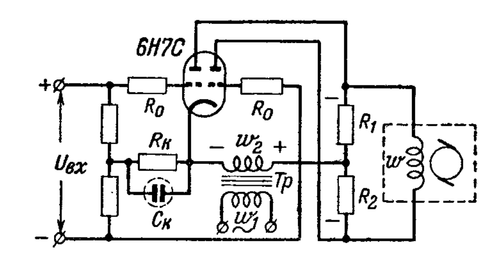
Фиг. 28. Управление двигателем переменного тока (двигатель конденсаторного типа).

а — схема; *б* — графики токов.

ным случаем, то фаза переменной составляющей тока с частотой 50 *гц* изменится на противоположную и ротор двигателя будет вращаться в другую сторону. Изменяя амплитуду переменного напряжения на входе управляемого выпрямителя, можно менять величину переменной составляющей тока $I_{нп}$. При этом будут меняться ток в обмотках двигателя и величина его вращающего момента.

Для управления двигателем постоянного тока может быть использована схема, показанная на фиг. 29. Она представляет собой двухтактный однополупериодный усилитель, описанный ранее. Ток через каждый из триодов лампы 6Н7С, примененной в схеме, протекает в течение одного и того же полупериода питающего напряжения. При входном напряжении, равном нулю, падения напряжения на сопротивлениях R_1 и R_2 равны друг другу. В результате напряжение, подводимое к управляющей обмотке w (обмотке возбуждения) двигателя равно нулю.

Если на вход схемы подается напряжение $U_{вх}$ с полярностью, показанной на схеме фиг. 29, то анодный ток левого триода увеличится, а правого — уменьшится. Вследствие этого обмотка w двигателя окажется под напряжением, равным разности падений напряжения на сопротивлениях R_1 и R_2. При изменении полярности входного напряжения изменится также и полярность напряжения, подводимого к обмотке w, что вызовет перемену направления вращения ротора двигателя. Скорость вращения будет зависеть от величины входного напряжения $U_{вх}$.



Фиг. 29. Схема управления электродвигателем постоянного тока.

Сопротивления R_1 и R_2 служат также для предохранения управляющей обмотки двигателя от пробоя изоляции при резких изменениях анодного тока триодов, вследствие чего могли бы возникнуть перенапряжения.

Сопротивления R_0 служат для ограничения сеточных токов при резком увеличении входного напряжения, а сопротивление $R_к$ и конденсатор $C_к$ обеспечивают автоматическое сеточное смещение за счет анодного тока.

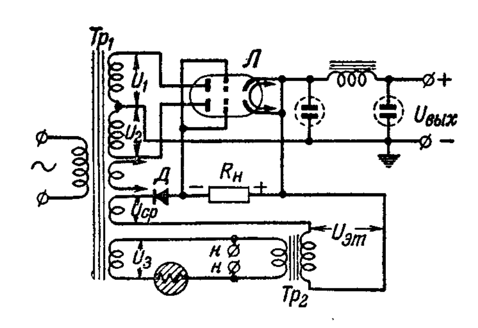
СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотренные нами ранее самовыпрямляющие усилительные схемы могут быть использованы и в стабилизаторах напряжения. Это объясняется тем, что к усилителям в стабилизаторах предъявляются менее жесткие требования, чем к обычным радиотехническим усилителям, используемым для усиления колебаний заданного диапазона частоты и с ограниченной величиной нелинейных искажений.

Применение самовыпрямляющих усилительных схем в стабилизаторах напряжения представляет также возможность упростить стабилизаторы, совмещая функции выпрямительной и исполнительной лампы, как это сделано в схеме фиг. 30.

Такая схема может оказаться рациональной для питания радиоустройств с малым числом каскадов усиления и в тех случаях, когда преимущественное значение приобретают вопросы стоимости, простоты и к. п. д. источника питания.

Действие схемы фиг. 30 может быть сведено к следующему. Напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора $Тр_2$ стабилизируется при помощи бареттера $Б$. Этим же бареттером стабилизируется ток накала ламп, накальные цепи которых включены в схеме в точках $Н — Н$. Напряжение $U_{эт}$ вторичной обмотки трансформатора $Тр_2$ все время сравнивается с напряжением $U_{ср}$ одной из вторичных обмоток трансформатора $Тр_1$. Разность напряжений выпрямляется диодом $Д$ и создает падение напряжения постоянного тока на сопротивлении $R_н$ с полярностью, показанной на схеме. При изменении напряжения питающей сети будет меняться падение напряжения на сопротивлении $R_н$. Это напряжение используется для управления внутренним сопротивлением выпрямительной лампы $Л$.



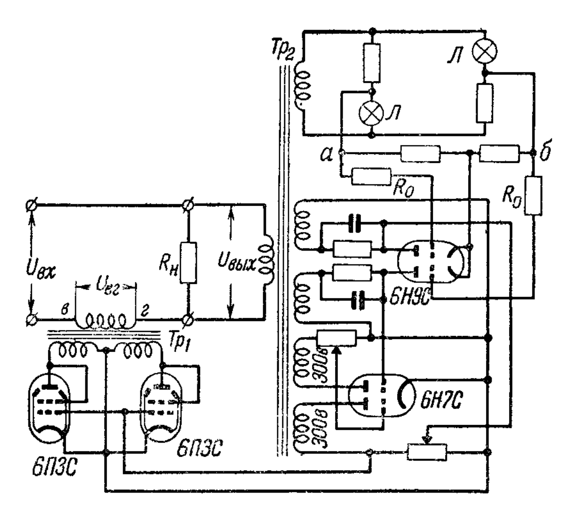
Фиг. 30. Схема стабилизированного источника питания.

Параметры схемы фиг. 30 подбираются такими, чтобы при минимально допустимом напряжении сети на сопротивлении $R_н$ было такое напряжение смещения, при котором на выходе выпрямителя можно было получить номинальное напряжение анодного питания. Тогда при возрастании напряжения сети напряжение на сопротивлении $R_н$ будет возрастать так, чтобы напряжение на выходе выпрямителя не зависело от изменения напряжения в сети.

В качестве вспомогательного диода $Д$ может быть использован кристаллический диод типа ДГ-Ц, а в качестве лампы $Л$ — лампа 6Н5С, позволяющая получать выпрямленный ток до 200 *ма*. Бареттер типа 1Б5-9 позволяет включать накальные цепи ламп при общем токе до 1 *а*.

При этом трансформаторы должны быть рассчитаны на напряжения: $U_1 = U_2 = 300$ *в*; $U_{ср} = 200$ *в*; $U_{эт} = 220$ *в*; $U_3 = 14$ *в*.

Для подбора режима работы стабилизатора вторичная обмотка трансформатора $Тр_2$ должна иметь отводы, чтобы с нее можно было снимать напряжения в 210, 215, 220, 225 и 230 *в*. Так как мощность, отбираемая от этого трансформатора, невелика, то его обмотки могут быть выполнены из проводов диаметром 0,05 *мм*.



Фиг. 31. Схема стабилизатора напряжения переменного тока.

Выходное напряжение в схеме фиг. 30 изменяется в зависимости от сопротивления нагрузки, как и в обычных кенотронных выпрямителях со сглаживающими фильтрами. При расчете такого выпрямителя можно пользоваться общепринятыми расчетными соотношениями.

На фиг. 31 приведена еще одна схема электронного стабилизатора напряжения переменного тока, в котором используются самовыпрямляющие усилительные схемы.

Измерительный элемент стабилизатора представляет собой мостовую схему, в которой противоположными плечами являются линейные сопротивления в виде лампочек накаливания *Л*. Сопротивление нитей этих лампочек зависит от протекающего по ним тока. Это дает возможность сбалансировать мост при номинальном значении выходного напряжения стабилизатора. При отклонении выходного напряжения от заданного номинального значения баланс нарушается, на выходе измерительного элемента (точки *а* и *б*) появится напряжение переменного тока, амплитуда которого будет пропорциональна величине отклонения напряжения стабилизатора от номинального. Фаза выходного напряжения измерительного элемента будет соответствовать знаку отклонения выходного напряжения от номинального.

Выходное напряжение измерительного элемента поступает на вход усилительного элемента, усиливается и преобразуется в напряжение постоянного тока, а затем воздействует на сетки ламп исполнительного элемента таким образом, чтобы компенсировать происшедшее изменение выходного напряжения стабилизатора, которым питается сопротивление нагрузки $R_н$.

Усилительный элемент стабилизатора содержит ранее рассмотренные самовыпрямляющие усилительные схемы. Первый каскад усилителя на лампе типа 6Н9С является двухтактным и одновременно с усилением производит преобразование входного напряжения переменного тока в выходное напряжение постоянного тока. На лампе типа 6Н7С собран двухкаскадный усилитель напряжения постоянного тока с положительной обратной связью, примененной для увеличения коэффициента усиления. Усиленное напряжение постоянного тока используется для управления лампами исполнительного элемента стабилизатора.

Исполнительный элемент представляет собой трансформатор $Тр_1$, нагруженный двумя электронными лампами типа 6П3С. Первичная обмотка трансформатора $Тр_1$ включена последовательно с сопротивлением нагрузки стабилизатора $R_н$. Падение напряжения на первичной обмотке трансформатора $Тр_1$ ($U_{вг}$) зависит от напряжения смещения на управляющих сетках ламп исполнительного элемента. Чем больше напряжение смещения лампы 6П3С, тем меньше анодный ток этих ламп и соответственно этому меньше нагружается трансформатор $Тр_1$. Напряжение на выходе стабилизатора при этом повышается, а вместе с тем повышается и напряжение на обмотках трансформатора $Тр_2$.

Благодаря тому, что трансформатор $Тр_1$ нагружен двумя поочередно проводящими лампами, не происходит заметного искажения формы кривой выходного напряжения стабилизатора.

Стабилизатор напряжения по схеме фиг. 31 построен по компенсационному методу и его выходное напряжение в

диапазоне стабилизации не зависит от частоты тока питающей сети и сопротивления нагрузки. Это происходит потому, что в нем компенсируются изменения выходного напряжения вне зависимости от вызвавших их причин.

Стабилизатор по такой схеме мощностью в 20 *ва* может обеспечить точность поддержания постоянства выходного напряжения в $\pm 1\%$ при $\frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} = \pm 15\%$; $\frac{\Delta I_н}{I_н} = \pm 30\%$ и $\frac{\Delta f}{f} = \pm 10\%$ при изменениях температуры окружающей среды в пределах от $-5°$ до $+40°$ С.

ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В настоящее время токи высокой частоты широко применяются во многих отраслях народного хозяйства для различных целей. Особенно широкое применение нашли токи высокой частоты для сушки древесины, шелка, хлопка, бумаги, зерна, для закалки стальных изделий, для консервации продуктов питания и т. д. В этих случаях используются электрические токи с частотой от сотен герц до десятков мегагерц.

До сих пор одним из самых распространенных генераторов тока повышенной частоты при частотах до 10 *кгц* является электрическая машина, которая обеспечивает возможности получения на этих частотах мощности до 200 *квт*. Наряду с машинными генераторами все более широко внедряются ламповые генераторы на самые различные диапазоны частот генерируемых колебаний.

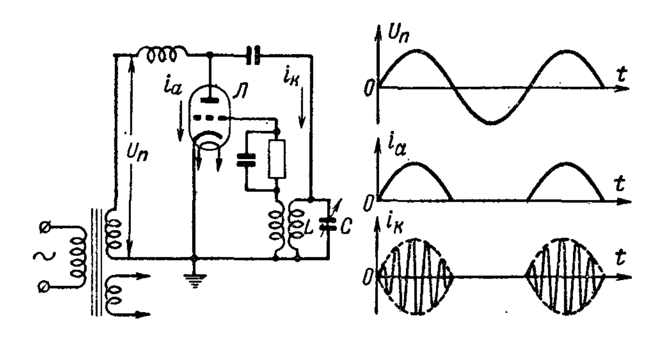
Во всех случаях промышленного использования ламповых генераторов приходится считаться с к. п. д. генератора, стабильностью частоты и формой кривой генерируемых колебаний, простотой устройства и эксплуатации генератора.

Маломощные установки, предназначенные для промышленного применения токов высокой частоты, можно строить на основе упрощенных схем ламповых генераторов с непосредственным питанием от сети переменного тока. Простейшая схема одного из таких генераторов приведена на фиг. 32,*а*.

Лампа *Л* в этой схеме проводит ток только в положительный полупериод питающего напряжения. Поэтому форма генерируемых колебаний будет иметь вид, показанный на графике фиг. 38,*б*. При этом предполагается, что колебательный контур *LC* генератора нагружен и колебания в нем затухают весьма быстро.

В схеме, приведенной на фиг. 32,*а*, кроме основной частоты, генерируется также большое число гармоник. Их энергия в ряде случаев может оказаться не только бесполезной, но и вредной.

В этой схеме лампа генератора не используется полностью по току и по допустимой мощности рассеяния на аноде, так как она работает не с постоянной амплитудой тока и не с постоянной оптимальной отсечкой анодного тока; вследствие этого и к. п. д. установки получается меньшим, чем при питании генератора постоянным током.



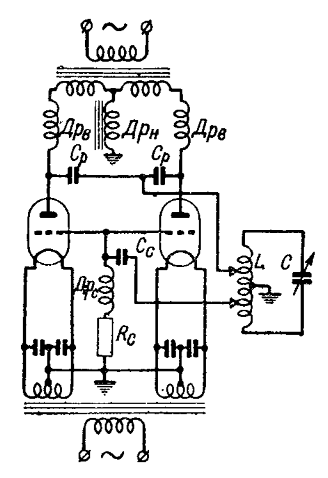
Фиг. 32. Ламповый генератор с самовозбужденнем.
а — схема; *б* — графики тока и напряжения.

Указанные недостатки генераторов подобного типа привели к тому, что ими не пользовались до последнего времени. Казалось выгоднее иметь выпрямитель и питать генераторную лампу постоянным током с целью повышения к. п. д. установки. Тем не менее при рациональном выполнении схемы генератора в ряде случаев оказывается целесообразным питать его переменным током.

На фиг. 33 приведена одна из подобных схем лампового генератора с полным питанием от сети переменного тока без использования выпрямителя. Лампы в ней работают попеременно, чередуясь через каждые полпериода питающего напряжения. С этой точки зрения схема одновременно является генератором и однофазным двухтактным выпрямителем. Благодаря дросселю низкой частоты $Др_н$ получается почти прямоугольная форма огибающей кривой высокочастотных колебаний. При отсутствии этого дросселя форма

кривой огибающей была бы такой, как в двухтактном выпрямителе.

По току высокой частоты обе лампы соединены параллельно и работают на общее сопротивление нагрузки, которым для них является колебательный контур LC. Параллельное соединение ламп по высокой частоте достигается при помощи разделительных конденсаторов C_p и за счет непосредственного соединения управляющих сеток ламп.



Фиг. 33. Схема лампового генератора с полным питанием от сети переменного тока.

Назначение высокочастотных дросселей $Др_в$ и разделительных конденсаторов C_p обычное для схемы с параллельным питанием анодной цепи.

Обратная связь осуществлена по автотрансформаторной схеме. Дроссель $Др_c$, сопротивление R_c и конденсатор C_c являются элементами автоматического сеточного смещения, осуществляемого за счет сеточного тока ламп.

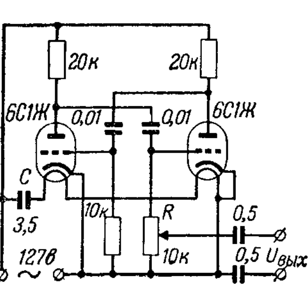
Наряду с приведенной схемой могут быть применены и другие, в том числе двухтактные схемы генераторов с питанием от сети трехфазного тока.

МУЛЬТИВИБРАТОР

Мультивибратор может быть использован как источник колебаний почти прямоугольной формы, как устройство для деления и умножения частоты и ряда других целей. В радиолюбительской практике мультивибраторы используют для проверки и налаживания радиоприемников. Для последних целей может быть использован мультивибратор с полным питанием от сети переменного тока без применения выпрямителя, схема которого приведена на фиг. 34.

Анодные цепи ламп питаются здесь непосредственно от сети переменного тока с напряжением в 127 *в*. При более высоком напряжении сети применяется трансформатор. Нити накала ламп соединены последовательно между собой,

а последовательно с ними включен конденсатор $C=3{,}5$ *мкф*, что дает возможность обойтись без понижающего трансформатора для питания цепи накала ламп. Конденсатор C используется как добавочное сопротивление.



Фиг. 34. Схема мультивибратора на переменном токе.

Форма кривой генерируемых колебаний в схеме фиг. 34 получается сложной. Помимо колебаний основной частоты, имеются колебания с частотами, кратными основной частоте. Так как основная частота колебаний известна по величинам сопротивлений и конденсаторов схемы, то настройку приемника можно вести по любой из составляющих колебаний.

Уровень выходного напряжения мультивибратора можно менять при помощи переменного сопротивления $R = 10$ *ком*.

ЛИТЕРАТУРА

И. П. Жеребцов, Радиотехника, Связьиздат, 1953.

В. М. Шляндин, Элементы автоматики и телемеханики, Оборонгиз, 1954.

Л. И. Байда и А. А. Семенкович, Электронные усилители постоянного тока, Госэнергоиздат, 1953.

И. Г. Гольдреер, Стабилизаторы напряжения, Госэнергоиздат, 1952.

В. Ю. Рогинский, Полупроводниковые выпрямители, Госэнергоиздат, 1952.

С. Н. Кризе, Усилители низкой частоты, Связьиздат, 1954.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 1 р. 05 к.